

*В.А. АНДИЛАХАЙ*, ПГТУ, г. Мариуполь

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Приведены результаты оптимизации режимов плоского шлифования с учетом ограничения по точности обработки. Теоретически доказана эффективность применения высокопроизводительного глубинного шлифования.

Results of optimization of conditions of a surface grinding are reduced in view of limitation on an exactitude of machining. Efficiency of application of a high-performance creep feed work theoretically proved.

Шлифование является одним из основных методов окончательной обработки деталей машин, обеспечивающих высокие показатели точности и качества обрабатываемых поверхностей. Поэтому вопросам совершенствования технологии шлифования постоянно уделяется большое внимание, особенно в плане повышения производительности и снижения себестоимости обработки [1, 2]. Традиционно эти вопросы решаются на основе проведения экспериментальных исследований для частных условий обработки, что не позволяет установить общие закономерности формирования параметров шлифования и выявить скрытые резервы процесса шлифования. В связи с этим целью настоящей работы является теоретический анализ процесса шлифования и выбор оптимальных режимов обработки с учетом требований по точности размера обрабатываемой поверхности, обусловленного упругими перемещениями, возникающими в технологической системе.

Для решения поставленной задачи в работе рассмотрен процесс выхода при плоском шлифовании с дискретно изменяющейся во времени скоростью радиальной подачи. В основу решения положена аналитическая зависимость для определения величины упругого перемещения  $y$  в технологической системе, приведенной в работе [3]:

$$y = y_0 \cdot e^{\frac{n}{B_1}} \quad (1)$$

где  $y_0$  – начальный натяг в технологической системе, м;  $n$  – количество

проходов круга;  $B_1 = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{дет}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$  – безразмерный параметр;  $\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{ш}}$  – ус-

ловное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м<sup>2</sup>;  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования;  $P_z, P_y$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $H$  – ширина шлифования (высота круга), м;  $V_{дет}$  – скорость детали, м/с;  $V_{кр}$  – скорость круга, м/с;  $c$  – приведенная жесткость технологической системы, Н/м.

Рассмотрим случай  $n=1$ ;  $y_0 = t$  в соответствии с зависимостью (1), где  $t$  – номинальная глубина шлифования, м. Оценим возможности шлифования с учетом прочностных свойств рабочей поверхности круга, которые в обобщенном виде можно выразить предельной толщиной среза отдельным зерном круга. Для этого представим скорость детали  $V_{\text{дет}}$  зависимостью, приведенной в работе [2]:

$$V_{\text{дет}} = \frac{m \cdot V_{\text{кр}} \cdot H_{\text{max}}^3}{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{кр}}}{t}}, \quad (2)$$

где  $m$  – объемная концентрация зерен круга (например, для 100%-ной концентрации зерен алмазного круга –  $m=100$ );  $\bar{X}$  – зернистость круга, м;  $R_{\text{кр}}$  – радиус круга, м;  $H_{\text{max}}$  – максимальная толщина среза отдельным зерном круга, м.

С учетом зависимости (2) параметр  $B_1$  опишется

$$B_1 = \frac{2 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot H}{c \cdot K_{\text{ш}}^2} \cdot \frac{m \cdot H_{\text{max}}^3}{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{кр}}}{t}}. \quad (3)$$

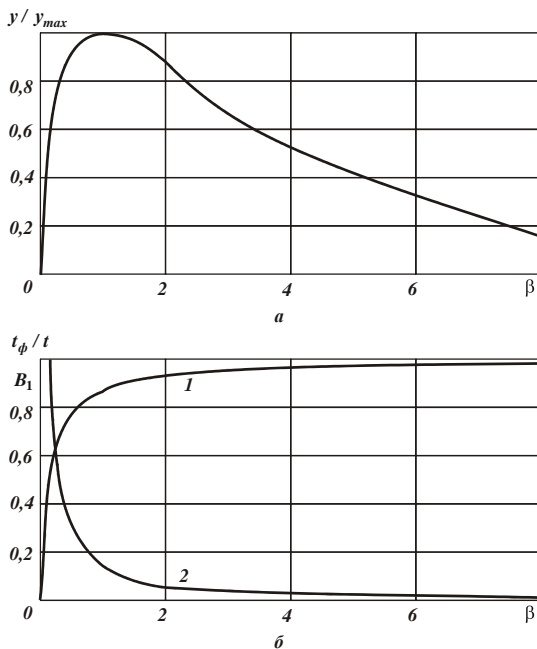


Рис. 1. – Зависимость  $y/y_{\text{max}}$  (а) и  $t_{\phi}/t$ ,  $B_1$  (б) от безразмерной величины  $\beta$ : 1 –  $t_{\phi}/t$ ; 2 –  $B_1$ .

Тогда зависимость (1) с учетом зависимости (3) выразится

$$y = t \cdot e^{-N \cdot \sqrt{t}}, \quad (4)$$

где 
$$N = \frac{c \cdot K_{ш}^2}{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot H} \cdot \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{m \cdot H_{\max}^3 \cdot \sqrt{R_{кр}}}.$$

Как видно, глубина шлифования  $t$  неоднозначно влияет на величину упругого перемещения  $y$ , т.е. существует экстремум функции  $y$  от  $t$ . Для его определения подчиним функцию  $y$  необходимому условию экстремума:  $y'_t = 0$ . После несложных преобразований, получено

$$t_{экстр} = \frac{4}{N^2}. \quad (5)$$

Расчетами установлено, что вторая производная  $y''_t < 0$ . Следовательно, имеет место максимум функции  $y$ :

$$y_{\max} = t_{экстр} \cdot e^{-2} = 0,138 \cdot t_{экстр}. \quad (6)$$

С учетом зависимостей (4) и (6) отношение  $y / y_{\max}$  и величина  $y$  определяются

$$\frac{y}{y_{\max}} = 7,41 \cdot \beta \cdot e^{-2 \cdot \sqrt{\beta}}, \quad (7)$$

$$y = \frac{4 \cdot \beta}{N^2} \cdot e^{-2 \cdot \sqrt{\beta}}, \quad (8)$$

где  $\beta = t / t_{экстр}$  – безразмерная величина.

Безразмерный параметр  $B_1$  определяется отношением

$$B_1 = \frac{y}{t_{\phi}} = \frac{t - t_{\phi}}{t_{\phi}} = \frac{t}{t_{\phi}} - 1, \text{ где } t_{\phi} = t - y - \text{ фактическая глубина шлифования, м.}$$

Из зависимости (1) вытекает

$$t_{\phi} = t \cdot \left( 1 - e^{-\frac{n}{B_1}} \right), \quad (9)$$

Тогда отношение  $t_{\phi} / t$  и безразмерный параметр  $B_1$  определяются

$$\frac{t_{\phi}}{t} = 1 - e^{-2 \cdot \sqrt{\beta}}, \quad (10)$$

$$B_1 = \frac{1}{\left( \frac{1}{e^{-2 \cdot \sqrt{\beta}}} - 1 \right)}. \quad (11)$$

В табл. 1 и на рис. 1 приведены расчетные значения отношений  $y/y_{\max}$ ,  $t_{\phi}/t$  и безразмерного параметра  $B_1$ . Как видно, с увеличением безразмерной величины  $\beta$  отношение  $y/y_{\max}$  первоначально увеличивается, затем уменьшается. Это указывает на возможность существенного уменьшения отношения  $y/y_{\max}$  с увеличением глубины шлифования  $t$ . При этом скорость детали  $V_{\text{дет}}$  с увеличением глубины шлифования  $t$  (в соответствии с зависимостью (2) при заданном значении  $H_{\max}$ ) уменьшается, а производительность обработки

$$Q = H \cdot V_{\text{дет}} \cdot t = \frac{H \cdot m \cdot V_{\text{кр}} \cdot H_{\max}^3 \cdot \sqrt{R_{\text{кр}}} \cdot t}{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3} \quad (12)$$

увеличивается, что свидетельствует об эффективности съема припуска за один проход круга, используя схему глубинного шлифования [4].

Таблица 1 – Расчетные значения отношений  $y/y_{\max}$ ,  $t_{\phi}/t$  и безразмерного параметра  $B_1$

$\beta$	0	0,25	0,5	0,75	1	2	4	8
$y/y_{\max}$	0	0,681	0,888	0,983	1	0,888	0,532	0,176
$t_{\phi}/t$	0	0,632	0,762	0,824	0,865	0,941	0,983	0,998
$B_1$	$\infty$	0,582	0,312	0,213	0,156	0,062	0,017	0,002

Как следует из табл. 1, отношение  $t_{\phi}/t$  увеличивается с увеличением  $\beta$ , а параметр  $B_1$  уменьшается, принимая весьма малые значения. Следовательно, наблюдаемое существенное уменьшение величины упругого перемещения  $y$  в данном случае достигается за счет уменьшения параметра  $B_1$  в связи с уменьшением скорости детали  $V_{\text{дет}}$  в условиях глубинного шлифования при заданной максимальной толщине среза отдельным зерном круга  $H_{\max}$ .

Обеспечение заданного значения  $y$  (определяющего погрешность обработки) с увеличением глубины шлифования  $t$  предполагает уменьшение параметра  $H_{\max}$ , а, следовательно, силовой нагруженности режущих зерен и их износа. Поэтому применение глубинного шлифования при обеспечении требуемой величины  $y$  позволяет увеличить производительность обработки и уменьшить силовую нагруженность режущих зерен и их износ. Таким образом, теоретически обоснованы возможности повышения производительности

при одновременном обеспечении заданной точности обработки и снижении износа круга при глубинном шлифовании.

**Список литературы:** 1. Технологія машинобудування: Підручник / О.В. Якимов, В.М. Царюк, О.О. Якимов, Г.О. Оборський, В.П. Ларшин, О.В. Самійленко. – Одеса: Астропринт, 2001. – 608 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 4. Андилхай В.А. Теоретический анализ взаимосвязи между производительностью и энергоемкостью обработки при шлифовании // Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Вип. 11. – Маріуполь, 2009. – С. 36-41.

*Поступила в редколлегию 16.04.2010*

## УДК 621.923

**Ф.В. НОВИКОВ** д-р. техн. наук, **О.С. КЛЕНОВ**,  
**И.А. РЯБЕНКОВ** канд. техн. наук, ХНЭУ, г. Харьков

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГИДРОАППАРАТУРЫ НА ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЯХ**

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований условий повышения качества обработки деталей гидроаппаратуры на финишных операциях шлифования.

Results theoretical and experimental researches of conditions of improvement of quality of machining of details of the hydroequipment on finishing operations of grinding are reduced

Современный уровень развития авиационной техники требует решения сложных технологических задач по обеспечению высокого качества и точности обработки ответственных деталей гидроаппаратуры, изготовленных из высокопрочных сталей твердостью HRC 60...64 [1, 2]. Так, при обработке сепаратора необходимо обеспечить плоскостность обработки – до 0,005 мм, шероховатость поверхности  $R_a=0,16$  мкм. При обработке плунжера необходимо обеспечить конусность и овальность – не более 0,003 мм, шероховатость поверхности – на уровне 11-го класса чистоты. Согласно действующего технологического процесса, финишная обработка торцевой поверхности сепаратора производится по схеме доводки абразивным порошком, однако при этом не обеспечивается требуемая плоскостность вокруг всех 9-ти отверстий и наружной кромки сепаратора. Поэтому вместо доводки абразивным порошком предложено использовать шлифование торцевой поверхности вращаю-